

## MOLESTIA ORIGINADA POR EL RUIDO. VALIDACIÓN DEL PROCEDIMIENTO UTILIZADO

PACS: 43.66

Martín Bravo M<sup>a</sup> Ángeles<sup>(1)</sup>; Tarrero Fernández Ana I<sup>(2)</sup>; Machimbarrena Gutiérrez María; González Suárez Julio; González de Garibay Valentín  
Universidad de Valladolid, C/ Francisco Mendizábal, nº 1, 47014 Valladolid, España  
<sup>(1)</sup> [maruchi@sid.eup.uva.es](mailto:maruchi@sid.eup.uva.es); <sup>(2)</sup> [ana@sid.eup.uva.es](mailto:ana@sid.eup.uva.es)

### ABSTRACT

In previous papers we proposed a procedure to perform faster psychosocial studies on noise, allowing, among other applications, speeding up the monitoring of the Action Plans. The proposed procedure consists in gathering the sample population into homogeneous groups (clusters) that duly represent the behaviour of the population. In order to do it is necessary to previously make a survey and then use the survey results to stratify the sample into clusters. Random representatives are then selected within each resulting cluster and these representatives will be used for future inquiries to the population.

This paper studies the influence of the number of representatives used within each cluster, bearing in mind a compromise between time and cost reduction and results precision. The case of study will be used to validate the procedure.

### RESUMEN

En trabajos anteriores hemos propuesto un procedimiento para realizar con mayor rapidez estudios psicosociales en materia de ruido, lo que permite, entre otras aplicaciones, agilizar el seguimiento de las propuestas de mejora de los "Planes de Acción". El procedimiento propuesto consiste en agrupar la población objeto de estudio en grupos homogéneos que representen adecuadamente el comportamiento de la población. Para ello se realiza una encuesta a la población, y a partir de los resultados se estratifica la muestra, lo que permitirá seleccionar "testigos" o representantes de la población para utilizarlos en nuevas consultas.

En esta comunicación se analiza cómo varían los resultados que se obtienen en función del porcentaje de representantes que se tome dentro de cada clase, para llegar a un compromiso entre el ahorro que supone el procedimiento y la fiabilidad de los resultados. Al mismo tiempo, esto nos permitirá comprobar la bondad del procedimiento.

### 1. INTRODUCCIÓN

La Directiva 2002/49/EC del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental [1] exige la elaboración de Mapas de Ruido en las aglomeraciones de más de 100000 habitantes antes de julio de 2012, y la propuesta de Planes de Acción un año más tarde, proceso que se repetirá cada 5 años.

Con la elaboración de los mapas de ruido se ponen de manifiesto las zonas de la ciudad donde se superan los niveles aceptables de ruido, así como el porcentaje de la población que está sometida a estos niveles. Además, con la realización de encuestas a la población se puede conocer cómo es percibida por los ciudadanos la molestia originada por el ruido, determinar cuáles son las fuentes de ruido más molestas y los principales efectos que estas fuentes producen. Esta información, junto con el cálculo de los niveles de ruido a los que están sometidos los ciudadanos, servirá de base para la propuesta de los “Planes de Acción”, tendentes a corregir los conflictos de nivel (situación donde se superan los valores límite) y/o los conflictos de percepción (situación donde las personas están molestas con el ruido), y a alcanzar los objetivos de calidad que en el caso de España están recogidos en el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre [2], por el que se desarrolla la Ley del Ruido 37/2003 [3].

Pero plantear acciones de mejora no es suficiente, si no que es necesario hacer un seguimiento de dichas acciones, para ver cómo son percibidas por los ciudadanos. El tiempo y el coste de las consultas sucesivas es elevado, para reducirlo se ha propuesto una metodología [4] que permita conocer con rapidez la percepción de las medidas planteadas, y con ello conseguir una gestión más eficiente.

Las fases principales de la metodología planteada son las siguientes: 1) Diseño de la encuesta. 2) Trabajo de campo. 3) Análisis de resultados. 4) Estratificación de la muestra, y 5) Selección de representantes.

La cuarta fase consiste en la estratificación de la muestra en grupos homogéneos, o clusters, que permita tener una descripción de la población agrupando comportamientos. Posteriormente, en la quinta fase se seleccionan los “testigos” o representantes de la población en cada cluster, con la finalidad de obtener una submuestra de la población que se utilizará para hacer el seguimiento del efecto que han tenido las acciones de mejora propuestas de forma más rápida y económica, ya que se reduce el tiempo invertido y el coste en la toma de datos

En la figura 1 se representa un esquema que resume la metodología propuesta, el proceso de estratificación y su utilidad.

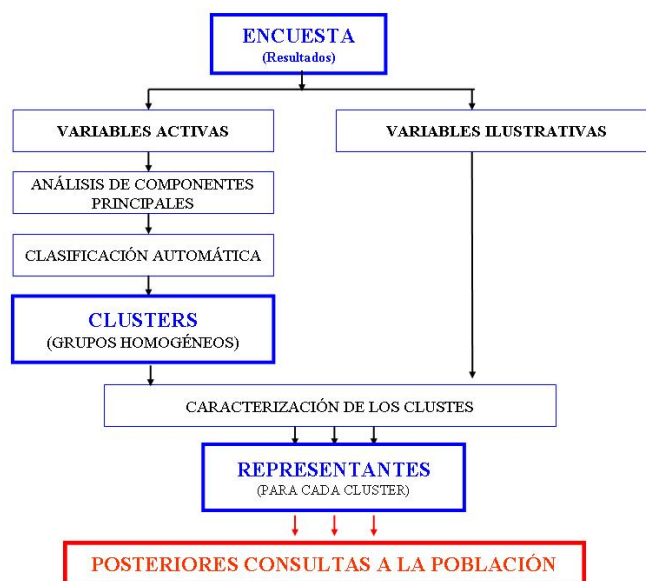


Figura 1: Esquema de la metodología propuesta y de la estratificación

El principal objetivo de esta comunicación es validar la metodología propuesta analizando cómo varían los resultados de una encuesta realizada a una población concreta, en función del porcentaje de testigos seleccionados en cada clase.

## 2. EFECTO DEL PORCENTAJE DE REPRESENTANTES UTILIZADOS EN LA ENCUESTA Y LA SIGNIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación valoramos este efecto, comparando la dispersión de la media muestral de una variable Y cuando se utiliza la muestra total y cuando se utiliza una proporción  $p^*$  de testigos. Obviamente, la varianza del valor medio de la variable es menor para la muestra total,  $\sigma_{\bar{Y}}^2$ , que cuando solamente se utiliza un porcentaje de representantes de esta muestra,  $\sigma_{\bar{Y}^*}^2$ . Una forma para cuantificar este empeoramiento de los resultados cuando se utiliza un porcentaje de representantes, es definir un parámetro estadístico, "el factor multiplicador de la varianza (*fmv*). Este parámetro se define como el cociente entre  $\sigma_{\bar{Y}^*}^2$  y  $\sigma_{\bar{Y}}^2$  (varianza del valor medio de la variable utilizando un porcentaje  $p^*$  de la muestra/varianza del valor medio de la variable utilizando la muestra total). Este parámetro, *fmv*, decrece hacia 1 cuando  $p^*$  se incrementa.

$$vmf = \frac{\sigma_{\bar{Y}^*}^2}{\sigma_{\bar{Y}}^2} \quad (1)$$

En la figura 2 se representa, para una muestra del 1% de la población, el *fmv* en función del porcentaje  $P^*$  de la muestra total que se utiliza como testigos en cada estrato. En la curva asintótica que resulta, se pone de manifiesto lo siguiente: En porcentajes bajos, con pequeños incrementos del porcentaje se consiguen mejorías importantes en la varianza de los resultados, mientras que para porcentajes altos, al aumentar el porcentaje de representantes la mejoría conseguida es poco importante. Al reducir el porcentaje del 50% al 20%, los resultados no son muy diferentes y el coste económico se reduce considerablemente. Si se trata de disminuir los costes, trabajar con un 20% de representantes puede ser aceptable. Podemos utilizar curvas de este tipo para tomar una decisión sobre el porcentaje de individuos a utilizar, buscando un equilibrio entre el coste económico y la precisión de los resultados.

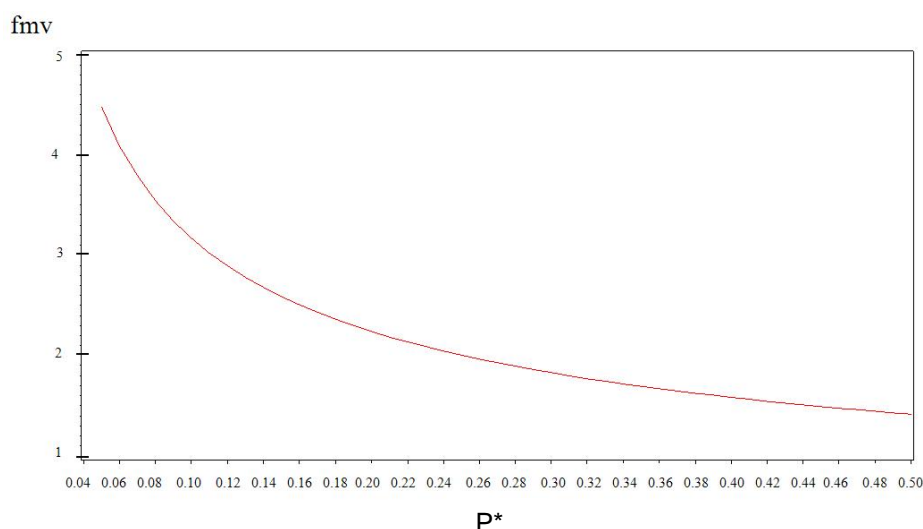


Figura 2: Representación del *fmv* en función del porcentaje de representantes.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO

Para llevar a cabo el objetivo propuesto, se utilizan los resultados de la encuesta psicosocial que se realizó en la ciudad de Málaga, y que formaba parte de la elaboración del Mapa de Ruido y de los Planes de Acción de esta ciudad. La encuesta que se elaboró siguiendo los criterios internacionalmente aceptados para este tipo de consultas [5, 6], estaba formada por 56 preguntas y se distribuyó por el procedimiento de rutas aleatorias, a 741 individuos (que representan aproximadamente al 1% de la población). La muestra se ha utilizado para estratificar la población, utilizando como criterio las respuestas de la encuesta relacionadas con la percepción del ruido y la molestia de las distintas fuentes de ruido. Los resultados obtenidos, que en este caso aconsejaban una estratificación en 10 clases, fueron presentados en el Tecnicacústica 2009 [7, 8, 9].

Para analizar cómo varían los resultados de las preguntas más significativas de la encuesta en función del porcentaje de personas seleccionadas en cada una de las 10 clases obtenidas en la estratificación de la muestra total, se selecciona, de forma aleatoria, una submuestra formada por individuos, a los que llamaremos testigos o representantes de las clases. El estudio se ha hecho para distintos porcentajes de testigos (5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 40% y 50%). Para cada uno de estos porcentajes se analiza como varía el resultado de cada pregunta respecto al valor obtenido con la muestra total.

Para esta comparativa se han calculado los valores en una escala de 1 a 5, analizando únicamente las preguntas de la encuesta que están relacionadas con:

- La molestia originada por el ruido (Considera **ruidosa** su calle, está **molesto** con el ruido)
- Los efectos producidos por el ruido (Sufre alteraciones en el **sueño** debido al ruido, Sufre alteraciones en el **comportamiento** debido al ruido)
- La molestia de las principales fuentes de ruido analizadas (**tráfico, obras y basuras**)

Para no repetir la comparativa de los resultados en cada una de las 10 clases, se han elegido dos, la que agrupa a los ciudadanos menos molestos con el ruido, clase 1, y la que agrupa a los ciudadanos más molestos con el ruido, clase 10. Se comprueba que para un mismo % de testigos, tomando distintas muestras aleatorias, los resultados no varían significativamente [10].

Para analizar cómo varían los resultados respecto al valor obtenido en la muestra total se toma una submuestra, formada por los representantes de las clases, constituida de forma aleatoria dentro de cada cluster, y respetando una afijación proporcional al tamaño de la clase.

### 4. INFLUENCIA DEL NÚMERO DE CLUSTERS EN LA ESTRATIFICACIÓN

Cuando se hace la estratificación de una muestra hay que buscar un compromiso entre la simplificación del problema y la precisión de los resultados (recoger la diversidad del comportamiento de los ciudadanos). Si la clasificación se hace en un número reducido de cluster el problema se simplifica, pero un mismo cluster puede agrupar distintos comportamientos. Esta situación se pone de manifiesto en el ejemplo que se presenta a continuación.

A partir de los datos obtenidos en un segundo estudio sobre la molestia originada por el ruido en los habitantes de la ciudad de Málaga, se ha procedido a estratificar la muestra en distinto número de cluster. La muestra estaba formada por 390 personas, seleccionadas por el método de rutas aleatorias.

En una primera etapa la estratificación se ha hecho en tres clusters. El cluster 1 está formado por los ciudadanos menos molestos que la media, el 2 por los más molestos que la media sobre todo por el ruido de tráfico y el 3 por los más molestos que la media sobre todo por el ruido de otras actividades (aglomeraciones, fiestas, bares...). Los datos de cada uno de ellos se recogen en la tabla 1, y su representación en el plano factorial 1-2, en la figura 3.

Tabla 1. Datos de la estratificación en tres clusters

CLASE	1	2	3
Número de encuestados	160	175	55
Porcentaje de encuestados	41	44,9	14,1
Posición en el plano factorial 1-2	(-0.27, 0.36)	(0.89, -0.90)	(3.20, 1.83)

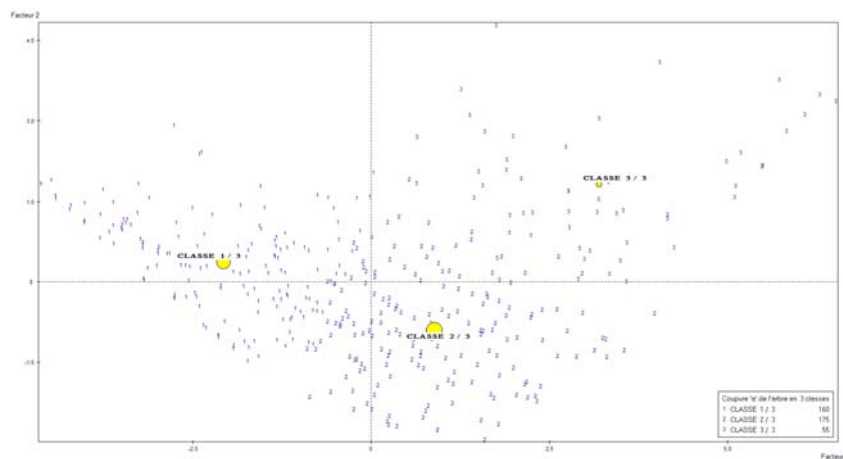


Figura 3: Representación de los tres clusters en el plano factorial 1-2.

En una segunda etapa se hace un estudio más pormenorizado y se obtienen 10 clusters; los resultados obtenidos se recogen en la tabla 2 y la representación en el plano factorial 1-2 en la figura 4.

Tabla 2. Datos de la estratificación en diez clusters

CLASE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nº encuestados	65	63	40	25	21	55	26	44	7	44
% encuestados	16.7	16.2	10.3	6.4	5.4	14.1	6.7	11.3	1.8	11.3

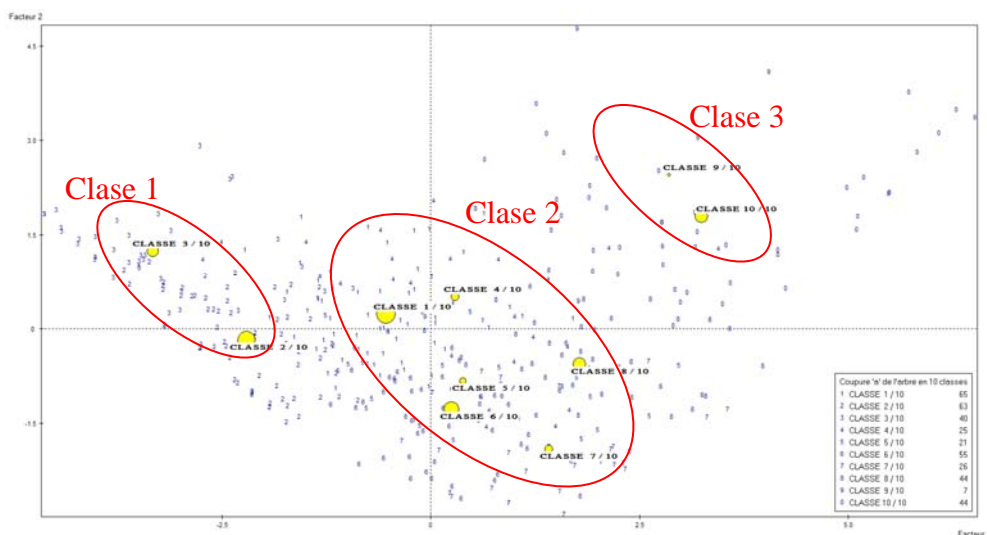


Figura 4. Representación de los diez clusters en el plano factorial 1-2

Comparando ambas representaciones se puede comprobar que:

- La clase 1/3 de la primera etapa engloba principalmente a las clases 2/10 y 3/10 de la segunda etapa.
- La clase 2/3 de la primera etapa está formada principalmente por las clases 1/10, 4/10, 5/10, 6/10, 7/10, y 8/10 de la segunda etapa.

- La clase 3/3 de la primera etapa está formada principalmente por la 9/10 y la 10/10 de la segunda etapa.

Con este ejemplo se pone de manifiesto que la clase 2/3 engloba a ciudadanos que están muy molestos con el ruido de tráfico (clase 7/10) y a ciudadanos que están más molestos que la media por otras fuentes (clase 4/10). Es decir, Si la estratificación se hace en tres clases se tiene una descripción de la población en grandes grupos que en algunos casos puede resultar interesante. Pero si se trata de aplicar acciones concretas orientadas hacia un sector muy determinado se requiere una división en clases más fina, una descripción más pormenorizada de diferentes comportamientos (siempre y cuando el nº de elementos dentro de cada clase sea suficiente para que tenga interés la elección de representantes para estudios posteriores).

Con la estratificación se trata de que el número de clases que se obtenga resulte útil para lo que se pretende en cada caso y sea operativo (no interesan clases muy grandes ni muy pequeñas); hay que buscar un compromiso entre la simplificación y el objetivo propuesto recoger la diversidad del comportamiento de los ciudadanos.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Resultados en cada una de las clases

Los tamaños de las 10 clases en las que se ha estratificado la muestra se recogen en la tabla 3, indicando el número de personas en cada clase y el porcentaje que representa en la muestra total.

Tabla 3: Tamaño de cada cluster

Cluster	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nº de personas	92	60	73	103	54	73	73	71	51	91
% de la nuestra total	12,4	8,1	9,9	13,9	7,3	9,9	9,9	9,6	6,9	12,3

Las características principales de cada una de las 10 clases en las que se estratifica la muestra que nos sirve de ejemplo, se recogen en [9]. En las figuras 5 se muestran los resultados de las preguntas seleccionadas para este trabajo en cada una de las 10 clases y en la muestra total.

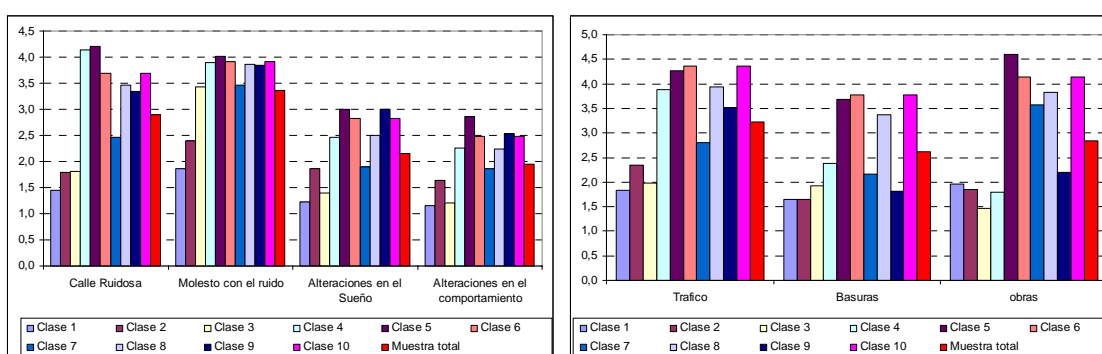


Figura 2: Resultados de las preguntas más significativas en cada clase y en la nuestra total

Los resultados para las siete preguntas seleccionadas son diferentes en cada clase, como se pone de manifiesto en la figura 2, estando unos por encima y otros por debajo de los valores correspondientes a la muestra total.

Los resultados de las clases que engloban a los individuos menos y más molestos con el ruido se representan en la figura 6, conjuntamente con los resultados de la muestra total.

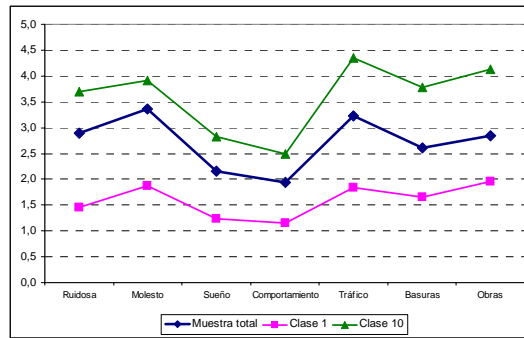


Figura 6. Resultados de las clases menos y más molestas con el ruido, y resultados totales

## 5.2. Resultados para diferentes porcentajes de testigos

A continuación se analizan cuáles son los resultados en las preguntas de la encuesta seleccionadas para este trabajo, si en lugar de considerar la muestra total se trabaja con una submuestra formada por el 5%, el 15%, el 30% y el 50% de la muestra total, lo que equivale, para mantener la heterogeneidad de la muestra, a trabajar con el 5%, 15%, 30% y 50% de representantes de cada clase. De esta comparativa se puede decidir en cada caso cuál es el porcentaje a utilizar, resultado del compromiso entre precisión de los resultados y coste del procedimiento.

En la figura 7 se representan los resultados obtenidos considerando la muestra total y testigos de cada clase correspondientes a los porcentajes del 5%, 15%, 30% y 50%. Aunque el estudio está hecho para 8 porcentajes diferentes, en esta grafica, al objeto de mantener la claridad en la representación, únicamente se han representado los que consideramos de mayor interés.

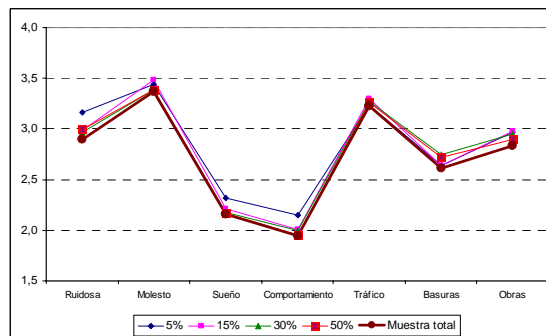


Figura 7 – Resultados en la muestra total y con diferentes porcentajes de testigos.

En la figura 7 se observa que los resultados no varían mucho cuando en lugar de la muestra total se consideran representantes de cada clase. Como se pone de manifiesto en esta figura, la línea que representa los diferentes porcentajes tiene un comportamiento similar a la que representa la muestra total, con ligeras desviaciones dependiendo del porcentaje de testigos utilizados.

Los resultados obtenidos con los distintos porcentajes son en general bastante similares a los obtenidos en la muestra total. La mayor desviación se da cuando se consideran los testigos correspondientes al 5%, alcanzando, para la pregunta con peores resultados, una desviación de 3 décimas sobre 5. Estas desviaciones disminuyen al aumentar los porcentajes, siendo lo más destacable que con el 15% de los testigos los resultados presentan una pequeña desviación respecto de la clase completa, y para porcentajes superiores la mejoría conseguida es ya poco significativa.

Si la estructura de estratos se aprovecha para seleccionar representantes dentro de cada cluster, con objeto de realizar sobre ellos el seguimiento posterior de la percepción del ruido, se consigue reducir de forma importante el tiempo y los costes para la toma de datos de las fases posteriores al planteamiento de los Planes de Acción, sin que se resienta significativamente la fiabilidad de los resultados, como se pone de manifiesto en este trabajo. Trabajar con el 15% o el 30% de la muestra total, en este caso supone pasar de 741 encuestas a 112 y 223 encuestas respectivamente.

## 6. CONCLUSIONES

A partir de los resultados de una encuesta realizada a una muestra significativa de la población, se puede estratificar la muestra en grupos homogéneos o clusters. Este procedimiento permite utilizar una submuestra reducida seleccionando representantes en cada una de las clases en las que se ha estratificado la muestra, sin que se resienta significativamente la fiabilidad de los resultados.

Con el ejemplo utilizado para evaluar el procedimiento, se ha comprobado que los resultados no varían mucho cuando en lugar de la muestra total se utilizan representantes de las clases. A partir del 15% de testigos de una clase, los resultados se desvían ligeramente respecto a los de la clase completa, y para porcentajes superiores la mejoría conseguida es poco significativa.

La metodología propuesta permite realizar estudios de percepción de la molestia ocasionada por el ruido con un coste mucho menor que en el procedimiento habitual y sin que se resienta de forma importante la fiabilidad de los resultados.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de la comunicación agradecen a la empresa PdAudio las facilidades dadas para utilizar los datos que hemos necesitado en este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental
- [2] Real decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- [3] Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido
- [4] Martín M<sup>a</sup> A.; Tarrero A. I.; *Machimbarrena, M.*; Arias, J.; González de Garibay V. Procedure used to determine citizens annoyance due to noise, CD-ROM of Proceedings EURONOISE 2009, Edinburgh, Scotland, October 26-28
- [5] ISO/TS 15666:2003: Acoustics -- Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys.
- [6] J.M. Fields, R.G. De Jong, T. Gjestland, I.H. Flindell, et al. Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys. Research and a recommendation, J Sound and vibration, 242(4), (2001) 641-679.
- [7] Martín M<sup>a</sup> A.; Tarrero A. I.; Arias, J.; González de Garibay V. Percepción del ruido por los ciudadanos: procedimiento y resultados. N<sup>o</sup> Especial de la Revista de Acústica, Vol. 40, n<sup>o</sup> 3-4, año 2009, ISBN: 84-87095-17-3. Tecniacústica 2009
- [8] Martín M<sup>a</sup> A.; Tarrero A. I.; Arias, J.; González de Garibay V. Percepción del ruido por los ciudadanos: relaciones dosis- efecto y coste-beneficio. N<sup>o</sup> Especial de la Revista de Acústica, Vol. 40, n<sup>o</sup> 3-4, año 2009, ISBN: 84-87095-17-3. Tecniacústica 2009
- [9] Martín M<sup>a</sup> A.; Tarrero A. I.; Arias, J.; González de Garibay V. Percepción del ruido por los ciudadanos: estratificación de la muestra. N<sup>o</sup> Especial de la Revista de Acústica, Vol. 40, n<sup>o</sup> 3-4, año 2009, ISBN: 84-87095-17-3. Tecniacústica 2009
- [10] M<sup>a</sup> Ángeles Martín; Ana I. Tarrero; María Machimbarrena; Julio González, Valentín González de Garibay, Procedure To Perform Noise Annoyance Psychosocial Studies. Internoise 2010, Lisboa (Portugal).